

11STUDI STRUKTUR GEOLOGI DAN LITOLOGI MENGGUNAKAN METODE PEMETAAN GEOLOGI BERBASIS PENGINDERAAN JAUH PADA BLOK KOLBANO, PULAU TIMOR, NUSA TENGGARA TIMUR

Helnaria Fermi Pandelisman

Teknik Geologi, Universitas Diponegoro

Jl. Prof.H.Soedarto, S.H. Tembalang – Semarang, Kode Pos 50275 Telp. (024) 7460055

Email: fermihelnaria@yahoo.com

ABSTRAK

Pulau Timor merupakan bagian dari Busur Banda yang terletak antara Laut Savu dan Laut Timor dan berada pada zona tumbukan antara tepi barat laut benua Australia yang bergerak ke utara dengan lempeng samudera Indo-Australia dan Laut Banda. Ekspresi struktur geologi yang terekam dalam relief dan topografi daerah Blok Kolbano dikaji dengan metode pemetaan geologi berbasis penginderaan jauh. Citra satelit Landsat 7-ETM+ diintegrasikan dengan DEM SRTM untuk mengidentifikasi struktur geologi dan satuan litologi, pengukuran tegasan utama terbesar juga dilakukan untuk menunjang interpretasi sistem sesar di daerah penelitian.

Tujuh satuan batuan sedimen berumur Perm sampai Miosen, dan struktur geologi berupa antiklin, sinklin, sesar naik, sesar mendatar, dan sesar normal berhasil diidentifikasi dalam penelitian ini. Sistem sesar yang berkembang di daerah penelitian merupakan sistem sesar naik dengan tipe imbrikasi yang diperlihatkan oleh umur batuan yang menunjukkan kecenderungan *younging* (tua-muda) dari sesar naik tertua dan keberadaan lipatan – lipatan di antara lembaran sesar – sesar naik daerah penelitian. Tegasan utama terbesar daerah penelitian adalah Timur laut - Barat daya atau cenderung ke arah NNE – SSW. Hasil yang diperoleh dari penelitian ini disusun dalam Sistem Informasi Geografis (SIG) yang menggunakan citra satelit Landsat 7- ETM+ terkoreksi sebagai peta dasar sehingga terjaga secara georeferensi.

Kata kunci: *fisiografi Blok Kolbano, pemetaan geologi berbasis Inderaan jauh, satuan litologi dan struktur geologi, sistem sesar imbrikasi.*

PENDAHULUAN

Secara fisiografis Timor Barat telah dibagi menjadi tiga bagian yaitu: 1) Batas bagian utara, yang ditandai dengan topografi kasar dan terdiri dari batuan sedimen laut dalam Banda, kompleks melange dan batuan alokton benua Australia berumur Mesozoikum-Paleozoikum, 2) Cekungan bagian tengah, sebuah pusat dataran rendah dengan lereng landai yang berisi sedimen klastik dan batugamping berumur Neogen akhir dan 3) Batas bagian selatan, yang di dalam tulisan ini disebut Pengunungan Kolbano (Blok Kolbano) (Gambar 1) yang terdiri dari sesar-sesar naik yang menyingkap batuan berumur Trias sampai Miosen dari sekuen Kekneno dan Kolbano (Sawyer, 1993) (Gambar 2). Selain karena lokasi dari sumur Banli-1 pada Blok Kolbano yang memperlihatkan adanya rembesan gas permukaan di wilayah ini (Sawyer, 1993), ekspresi struktur geologi yang terekam dalam

relief dan topografi daerah Blok Kolbano menjadi sangat menarik untuk dikaji terutama karena analogi model evolusi tektoniknya telah banyak diperdebatkan oleh peneliti – peneliti seperti Barber (1981), Sawyer (1993), Kartono Sani (1995), Charlton (1991, 2001), dan Audley-Charles (2004).

Penelitian ini bertujuan untuk menjelaskan struktur geologi dan satuan batuan juga sistem sesar yang berkembang di daerah Blok Kolbano menggunakan metode pemetaan geologi berbasis penginderaan jauh, juga memperbaiki rektifikasi dan memperbarui data kelurusan (*lineament*) yang ada pada Peta Geologi Nusa Tenggara Timur lembar Atambua. Hasil yang diperoleh melalui metode penginderaan jauh divalidasi dengan data penelitian Sawyer et al., (1993) dan Kartono Sani, et al., (1995) sebagai bahan pengoreksi.

TATANAN GEOLOGI BLOK KOLBANO

Penjabaran dari beberapa kumpulan stratigrafi berbeda mencerminkan kompleksitas sejarah tektonik dari daerah Timor barat, khususnya Blok Kolbano. Kesatuan litotektonik dari daerah ini dapat dikategorikan menjadi 1) Endapan sedimen Gondwana dan benua Australia berumur Permian sampai Pliosen awal yang mengarah ke lempeng samudera, yang pada tulisan ini disebut sekuen Kekneno dan Kolbano, 2) Endapan sedimen *syn* dan *post-orogen* berumur Neogen dari sekuen Viqueque, dan 3) Endapan sedimen dari busur vulkanik dan cekungan *forearc* berumur Kapur awal sampai Neogen dari Banda Terrane (Sawyer, 1993).

Distribusi dari tiga sekuen utama menjadi dasar untuk pembagian fisiografi Timor yaitu 1) Bagian Utara, dengan topografi kasar dibentuk oleh erosi Sekuen Kekneno, dan sebuah tutupan dari Formasi Maubisse dan Banda Terrane, 2) Cekungan Tengah dicirikan oleh mayoritas dataran tinggi dari sekuen Viqueque, dan 3) Bagian Selatan, sebagian besar terdiri dari unit litologi sekuen Kolbano yang terimbrikasi dan menampilkan ciri khusus dari kesatuan struktural yang disebut unit litotektonik Kolbano (Barber et al., 1978 dalam Sawyer, 1993).

Berdasarkan stratigrafi regional Blok Kolbano (Charlton, 2001) susunan batuan di daerah ini dari yang tertua adalah:

Formasi Maubisse didominasi oleh Batugamping berumur Permian Awal sampai Permian Akhir dan Batuan beku ekstrusif yang diidentifikasi sebagai batuan tertua di Timor Barat (Audley-Charles, 1968). Formasi Wailuli ini termasuk dalam sekuen Kekneno, litologi Formasi ini didominasi oleh batulanau homogen yang berwarna gelap dan batuserpih yang berselang – selang dengan batugamping kaya organik, kalsilitit dan batulempung. Satuan batuan Formasi Nakfunu terdiri dari radiolarites, batulempung, kalsilitit, perselingan batuserpih dan sebagian kecil kalkarenit, *wackestones* dan *packstones*. Formasi Menu diidentifikasi berdasarkan mayoritas litologinya yang berumur Kretasius Akhir, litologi dari Formasi ini didominasi oleh Kalsilitit berwarna merah muda sampai putih. Litologi dominan dari Formasi Ofu bersifat pejal, batugamping putih kemerahan menunjukkan pecahan *conchoidal* sampai *subconchoidal*, dan mengkilap porselen. Formasi Batuputih merupakan Formasi termuda

yang ditemukan di daerah penelitian. Formasi ini beranggotakan kalsilitit berwarna putih yang massif, batupung yang merupakan hasil vulkanisme, dan *marls* yang berwarna abu – abu cerah dengan banyak sisa – sisa tumbuhan.

METODOLOGI

Untuk mengidentifikasi struktur geologi dan satuan litologi yang berkembang pada daerah penelitian, digunakan metode pemetaan geologi berbasis penginderaan jauh dengan integrasi citra satelit Landsat 7- ETM+ dan DEM SRTM yang diinterpretasi dan dianalisis secara visual mengacu pada kunci interpretasi citra, yaitu relief atau topografi, tekstur, rona dan warna, bentuk, bayangan, vegetasi, pola pengaliran dan asosiasi. Citra Landsat 7- ETM+ yang dipakai adalah daerah Kabupaten Timor Tengah Selatan, Nusa Tenggara Timur, *path/row* 111/67 hasil perekaman tanggal 08 September 1999, sedangkan DEM digunakan dari SRTM Nusa Tenggara Timur generasi pertama. Hasil yang diperoleh berupa Peta Kelurusan (Gambar 3), dan Peta Geologi Blok Kolbano (Gambar 4) disajikan dengan menggunakan sistem informasi geografis (SIG).

SATUAN LITOLOGI BLOK KOLBANO

Penulis menggunakan metode komposit band RGB/457 dan RGB/731 pada citra satelit Landsat 7- ETM+ dengan pengamatan visual langsung yang mengacu pada kunci utama interpretasi citra untuk satuan litologi, yaitu relief, tekstur, rona, vegetasi dan pola pengaliran untuk melakukan interpretasi satuan litologi. Pemilihan komposit band RGB/457 dan RGB/731 untuk interpretasi satuan litologi pada penelitian ini didasarkan pada kenampakan komposit band RGB/457 yang memperlihatkan kekhasan rona dari masing-masing objek, sedangkan komposit band RGB/731 lebih jelas menampilkan tekstur dan topografi daerah penelitian.

Kenampakan batuan sedimen pada citra dapat dikenali dengan beberapa ciri khas, salah satunya adalah morfologi yang berkaitan langsung dengan resistensi dan struktur batuan. Morfologi lembah akan ditempati oleh jenis batuan lunak seperti batulempung, serpih, napal dan pematang bukit ditempati oleh lapisan batuan yang lebih keras seperti batupasir, konglomerat, breksi, dan batugamping. Ciri khas lainnya adalah kenampakan jejak-jejak perlapisan (*bedding trace*) yang tersingkap di

permukaan karena struktur geologi atau proses erosi, biasanya kenampakan dari jejak-jejak pelapisan ini akan membentuk morfologi dengan arah memanjang (Noor, 2009).

Berdasarkan integrasi citra satelit Landsat 7- ETM+ dan DEM SRTM daerah penelitian, tujuh satuan batuan sedimen berumur Perm sampai Miosen berhasil diidentifikasi (Tabel 1), yaitu batugamping pejal Fm.Maubisse, batuserpih Fm.Wailuli, batugamping berlapis Fm.Nakfunu, batugamping berlapis Fm.Menu, batugamping pejal dan berlapis Fm.Ofu, dan batugamping berlapis Fm.Batuputih.

STRUKTUR GEOLOGI DAN SISTEM SESAR BLOK KOLBANO

Kenampakan struktur geologi pada citra satelit didasarkan atas beberapa kriteria khusus, yaitu kelurusan morfologi, kedudukan satuan batuan dan pola pengaliran (Sidarto, 2010). Pada tahap interpretasi struktur geologi, digunakan metode interpretasi visual pada komposit band RGB/731 dengan menambahkan fusi band pankromatik sebagai intensitas pada komposit band tersebut sehingga resolusi spasialnya bertambah menjadi 15 meter.

Setelah membuat komposit band, hal yang dilakukan untuk mengidentifikasi struktur geologi adalah mencari jejak – jejak pelapisan, juga *landslide* atau longsoran – longsoran yang dapat menjadi indikasi zona lemah suatu gawir sesar. Tahap berikutnya adalah interpretasi kelurusan. Hasil yang didapatkan dari interpretasi kelurusan adalah diagram *rossette* (Gambar 5) dan rekapitulasi arah umum dan arah sesar mayor daerah penelitian (Tabel 2). Hasil ini kemudian dibuktikan dengan pengukuran tegasan utama terbesar yang terlebih dahulu dilakukan pemilahan terhadap struktur-struktur geologi yang merupakan hasil dari rezim gaya tekan (*compressional regime*) yang kemudian menghasilkan diagram *rossette* arah tegasan utama terbesar daerah penelitian (Gambar 6).

Berdasarkan interpretasi pada integrasi citra satelit Landsat 7-ETM+ dengan DEM SRTM yang mengacu pada kunci interpretasi kelurusan morfologi, kedudukan satuan batuan dan pola pengaliran, berhasil diidentifikasi struktur geologi berupa lipatan, sesar naik, sesar mendatar dan sesar normal (Gambar 7). Pembuktian arah umum dan kisaran arah sesar mayor melalui interpretasi kelurusan dan identifikasi struktur geologi menghasilkan arah

tegasan utama terbesar daerah penelitian yaitu Timur laut - Barat daya atau cenderung ke arah NNE – SSW.

Pembagian daerah penelitian menjadi tiga bagian yaitu, wilayah Pasi (Gambar 8), wilayah Menu (Gambar 9), dan wilayah Oetuke (Gambar 10), berdasarkan keunikan fitur – fitur morfologi dan indikasi keberadaan struktur geologi yang khas dari masing – masing bagian bertujuan untuk mempermudah penjelasan mengenai hubungan menyeluruh antara struktur geologi x pada waktu y dengan pembentukan sistem sesar daerah penelitian. Informasi umur geologi yang digunakan pada penelitian ini adalah umur relatif batuan yang didapatkan dari umur formasi batuan berdasarkan Peta Geologi Lembar Kupang dan Atambua yang diterbitkan oleh Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi tahun 1996 dan Peta Geologi Blok Kolbano oleh Sawyer et al., (1993).

Salah satu bukti dari tipe sistem sesar naik imbrikasi di daerah penelitian terdapat di wilayah Pasi, di mana sesar naik yang berada pada bagian terluar merupakan sesar naik yang paling tua. Bukti dari jenis sistem sesar naik imbrikasi di daerah Pasi adalah lengkungan setengah lingkaran itu sendiri, yang hanya melibatkan beberapa punggung sesar naik di dekat antiklin Pasi. Hal ini disebabkan jarak antara sesar naik tertua yang ada di wilayah Boti ke dua antiklin yang menjadi pondasi awal *rollup* atau *compartment folds* cukup jauh sehingga sesar – sesar naik di wilayah tersebut tidak ikut melengkung mengikuti arah kedua antiklin. Karena kolisi terus menerus berlangsung, dan gaya tekan dari kolisi tersebut semakin mendorong terjadinya sesar – sesar naik yang lebih muda, di mana sesar – sesar tersebut semakin mendekati antiklin di wilayah Pasi, terjadilah lengkungan setengah lingkaran dengan punggung sesar – sesar naik yang lebih muda. Hal ini tidak akan terjadi apabila sistem sesar naiknya adalah *duplexes*, di mana sesar yang terluar adalah sesar naik yang termuda. Jika hal ini terjadi di daerah penelitian, seharusnya punggung – punggung yang melengkung setengah lingkaran terjadi pada semua sesar naik pada sistem sesar naik di daerah penelitian.

KESIMPULAN

Satuan litologi di daerah penelitian dapat dikelompokkan menjadi tujuh satuan dari yang tertua, yaitu batugamping pejal Formasi

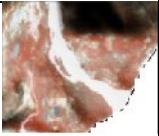

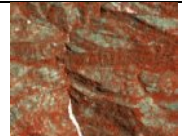
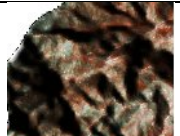
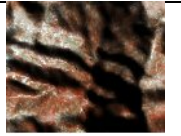
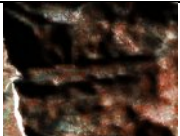
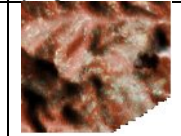
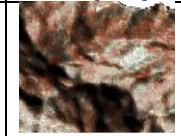
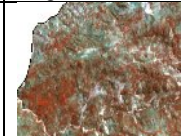
Maubisse, batuserpih Formasi Wailuli, batugamping berlapis Formasi Nakfunu, batugamping berlapis Formasi Menu, batugamping pejal dan berlapis Formasi Ofu, batugamping berlapis Formasi Batuputih.

Struktur geologi di daerah penelitian yang dapat diidentifikasi meliputi struktur lipatan yang terdapat di daerah Pasi, Banli, dan Menu; sesar naik yang terdapat di daerah Boti, Oetuke, dan Oeba; sesar mendatar di daerah Oetuke Utara, Pasi, dan Fatu; dan sesar normal di daerah Fatu, Pasi, dan Oeba. Arah tegasan utama terbesar daerah penelitian adalah Timur laut - Barat daya atau cenderung ke arah NNE - SSW. Sistem sesar naik yang ada di daerah penelitian adalah tipe *imbricate* yang diidentifikasi berdasarkan umur batuan yang menunjukkan kecenderungan *younging* (tua-muda) dari Utara ke Selatan dan keberadaan lipatan – lipatan di antara lembaran sesar – sesar naik daerah penelitian.

REFRENSI

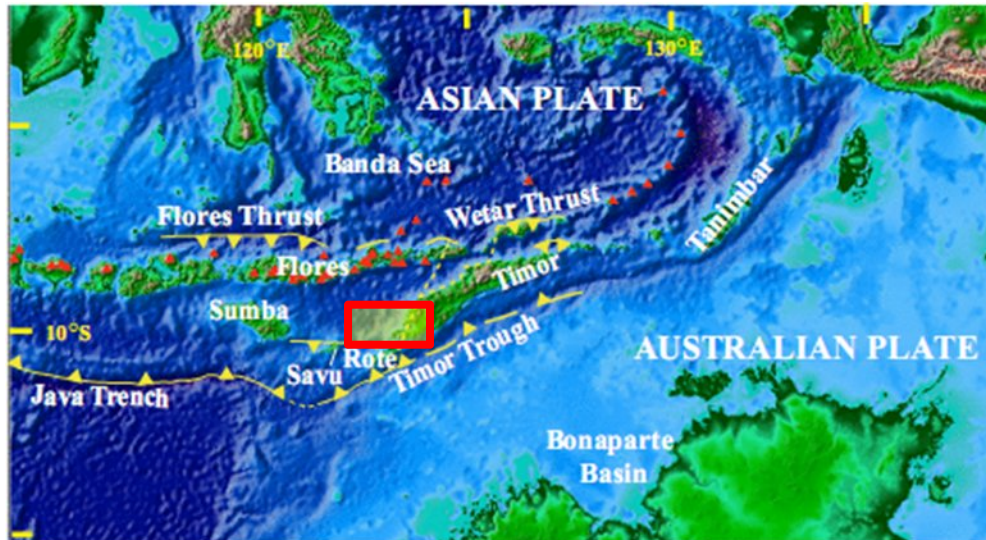
- Audley-Charles, M.G., 1968, *The Geology of Portuguese Timor*, Geol.Soc.London, Mem.4
- Audley-Charles, M.G., 2004. *Ocean Trench Blocked and Obliterated by Banda Forearc Collision with Australian Proximal Continental Slope*. University of London, Department of Earth Science. London.
- Barber, A.J., 1981. *A Structural Interpretations of The Island of Timor, Eastern Indonesia*; in: Barber, A.J. and Wiryosujono, S. Eds., *The Geology and Tectonics of Eastern Indonesia*, Geol. Res. Dev. Center, Bandung, Spec. Publ. 2, 283-198.
- Charlton, T.R., Barber, A.J., and Barkham, S.T., 1991. *The Structural Evolution of Timor Collision Complex, Eastern Indonesia*, Journal of Structure Geology 13, 489-500.
- Charlton, T.R. 2001. *The Petroleum Potential of West Timor*. Proceedings of Indonesian Petroleum Association 28, 301-317.
- Noor, Djuhari. 2009. *Pengantar Geomorfologi*. Universitas Pakuan, Department Geologi, Bogor.
- Sani, K., Jacobson, M.I., Sigit, R. 1995. *The Thin-Skinned Thrust Structures of Timor*. Proceedings Indonesian Petroleum Association 24nd.
- Sawyer, R.K., Sani, K., and Brown, S., 1993. *The Stratigraphy and Sedimentology of West Timor, Indonesia*. Proceedings Indonesian Petroleum Association 22nd.
- Sidarto. 2010. *Perkembangan Teknologi Inderaan Jauh dan Pemanfaatannya untuk Geologi di Indonesia*. Publikasi Khusus, 89 hal. Bandung : Badan Geologi

Tabel 1. Rekapitulasi parameter identifikasi satuan litologi daerah Blok Kolbano

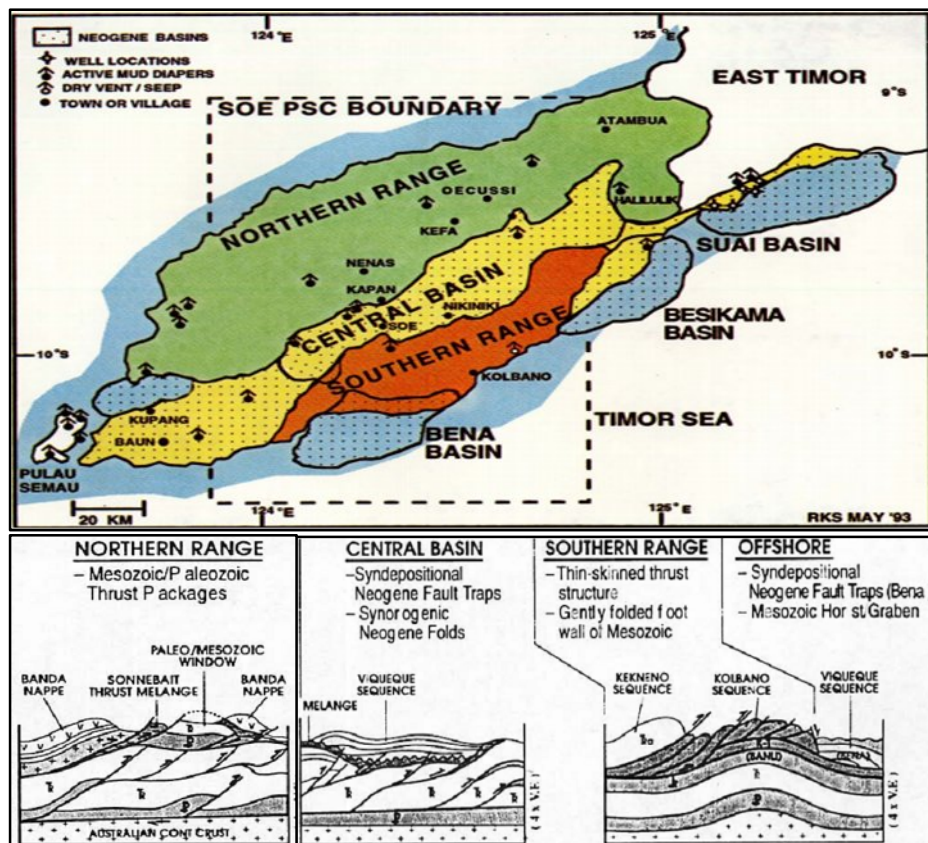
| No | Satuan Litologi Parameter | Aluvial | Batugamping berlapis Tmpb | Batugamping berlapis Tko | Batugamping pejal Tko | Batugamping berlapis Knm | Batugamping berlapis Kna | Batuserpih Jwu | Batugamping pejal TR Pml | Batulempung bersisik Tmb |
|----|------------------------------|---|---|---|--|---|---|---|---|---|
| 1. | Tekstur | Sangat halus | Kasar | Sedang | Kasar | Sedang | Sangat halus | Sangat halus | Sangat Kasar | Sangat halus |
| 2. | Topografi | Rendah, pinggir sungai – sungai besar, atau lembah | Rendah, di tebing – tebing atau lembah sesar sesar naik | Tinggi, punggung – punggung atau puncak perbukitan | Tinggi, punggung – punggung atau puncak perbukitan | Tinggi, punggung – punggung atau puncak perbukitan | Rendah sampai tinggi, tersingkap di antara zona – zona sesar | Rendah, tersingkap pada tinggian yang diduga sumbu antiklin Pasi | Tinggi, tersingkap pada punggung sesar naik | Rendah, berupa tinggian –tinggian mirip intrusi dalam skala lebih kecil, sebagai material longsoran |
| 3. | Rona/ Warna | Cerah | Sedang - gelap | Cerah | Sedang - gelap | Sedang - cerah | Gelap | Cerah | Sedang - cerah | Sedang – cerah |
| 4. | Pola Pengaliran | <i>Trellis, rectangular</i> | <i>Trellis</i> | <i>Trellis</i> , batuan dengan butiran lebih halus <i>rectangular</i> | <i>Trellis</i> | <i>Rectangular</i> | <i>Trellis</i> | <i>Trellis</i> | <i>Multibasinal</i> | <i>Paralel</i> |
| 5. | Vegetasi | Tipis | Tipis | Tebal | Tebal | Tebal | Tebal | Tipis | Tebal | Tipis |
| 6. | Asosiasi | Sungai | Ukuran perlapisan yang lebih tebal dibanding satuan lainnya | Bentuk perlapisan sejajar yang memanjang | Tidak dijumpai perlapisan, morfologi perbukitan yang tidak memanjang | Bentuk perlapisan sejajar yang memanjang | Bentuk perlapisan sejajar yang memanjang yang lebih halus dibanding satuan lainnya | Terletak di lembah – lembah perbukitan, dataran yang tererosi akibat struktur geologi yang intensif | Kenampakan bagian yang seperti ‘menumpang’ terhadap satuan lainnya, dibatasi struktur geologi | Pola pengaliran jarang, bentuk skala kecil dari intrusi, terletak sebagai material longsoran atau di tebing longsoran |
| 7. | Gambar |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

Tabel 2. Rekapitulasi arah umum dan kisaran arah sesar mayor daerah Blok Kolbano, Nusa Tenggara Timur

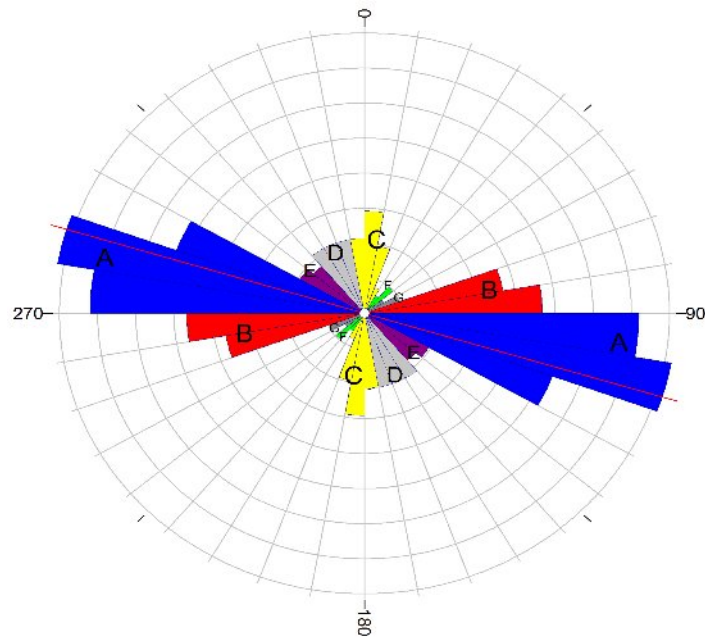
| Kel | Arah Umum (Mode) | Kisaran arah (Range) | Puncak | | |
|-----|---------------------|---------------------------|--------|-------|----------|
| | | | N | % | Densitas |
| A | N 105° E – N 285° E | (90°-120°) – (270°-300°) | 103 | 45,1% | Max |
| B | N 85° E – N 265° E | (70°-90°) – (250°-270°) | 42 | 18,4% | Max |
| C | N 10° E – N 190° E | (0°-30°) – (180°-210°) | 29 | 12,7% | Sub Max |
| D | N 160° E – N 340° E | (320°-0°) – (140°-180°) | 27 | 11,8% | Sub Min |
| E | N 130° E – N 310° E | (300°-320°) – (120°-140°) | 13 | 5,8% | Sub Min |
| F | N 45° E – N 225° E | (30°-50°) – (210°-230°) | 7 | 3,1% | Min |
| G | N 75° E – N 245° E | (50°-70°) – (230°-250°) | 7 | 3,1% | Min |



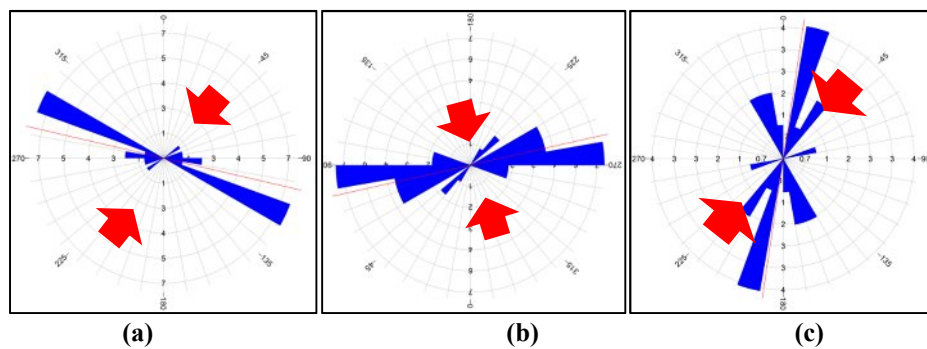
Gambar 1. Peta Lokasi Cekungan Busur Banda yang memperlihatkan Pulau Timor bagian barat dengan kotak berwarna merah (modifikasi Harris, 2006 dalam Zobell, 2007)



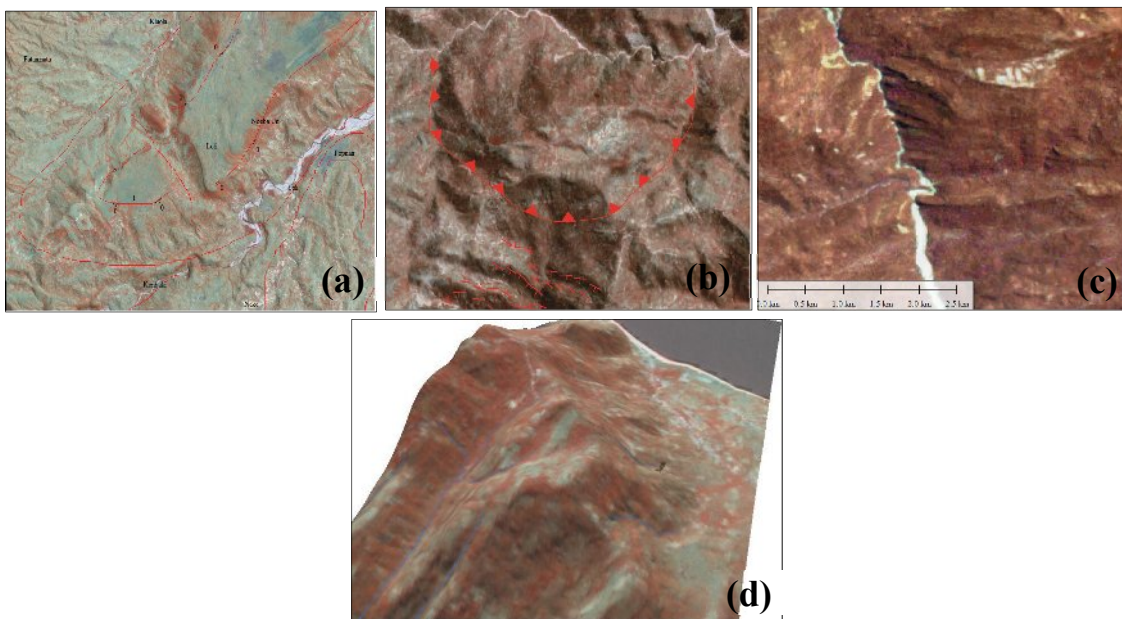
Gambar 2. Pembagian fisiografis Pulau Timor bagian barat (Sawyer, 1993)



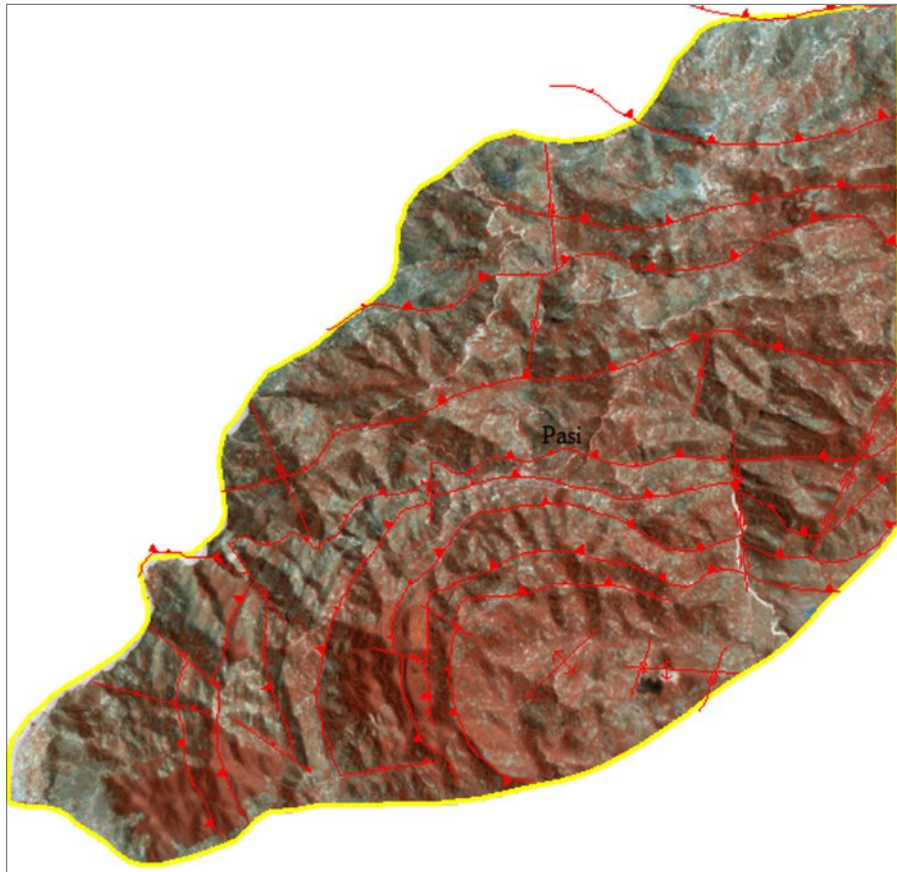
Gambar 5. Diagram *rossette* arah umum dan kisaran arah sesar mayor daerah Blok Kolbano, Nusa Tenggara Timur



Gambar 6. Arah tegasan utama (a) sumbu antiklin, (b) sesar naik, dan (c) sesar mendatar



Gambar 7. Struktur geologi yang terdapat di daerah penelitian (a) antiklin, (b) sesar naik, (c) sesar mendatar, dan (d) sesar normal



Gambar 8. Bagian daerah Pasi dan sekitarnya yang memperlihatkan punggung – punggung yang melengkung setengah lingkaran setelah dilakukan interpretasi struktur geologi



Gambar 9. Bagian daerah Oinlasi dan sekitarnya yang memperlihatkan beberapa punggung-lembah yang berpasangan setelah dilakukan interpretasi struktur geologi



Gambar 10. Bagian daerah Oetuke dan sekitarnya yang memperlihatkan sungai besar memanjang dari utara-selatan setelah dilakukan interpretasi struktur geologi